

Uso de tecnologia fotovoltaica em fachadas prediais com vidro refletivo: um estudo de alternativa de *retrofit*

Autor: André Luiz Primo Bertoletti

Orientadora: Dra. Eliete de Pinho Araujo

Coorientador: Dr. Leonardo Pinto de Oliveira

Linha de pesquisa: Cidade, infraestrutura urbana, tecnologia e projeto.

1 Introdução

No decorrer dos anos, Brasília cresceu consideravelmente, principalmente em seus centros urbanos, compostos em sua grande maioria por edificações verticalizadas. Seus prédios mais recentes descartam alguns elementos do estilo modernista proposto por Lucio Costa no projeto inicial para a capital, abrindo mão dos *brise-soleils* nas fachadas e de outros elementos funcionais bloqueadores de radiação solar e controladores de temperatura. As novas construções comerciais adotaram uma estética internacional, com fachadas majoritariamente revestidas por peles de vidro e vidros refletivos. Apesar de tal solução trazer consigo um estilo atrativo do ponto de vista visual, pode causar efeitos indesejados se implantados em regiões tropicais.

Esse tipo de revestimento de vidro para fachadas de edifícios foi projetado para países do hemisfério norte, com climas temperados, e se mostra uma boa solução para o aproveitamento do calor do sol durante períodos mais frios ao longo do ano, pois permite que uma grande quantidade de radiação e luz do sol entre no edifício, regulando sua temperatura interna, bem como refletindo uma parte do calor de volta para o ambiente externo. Porém em regiões como Brasília, que possui clima tropical sazonal, caracterizado com inverno seco e temperaturas máximas próximas dos 40º C, tal solução arquitetônica não é recomendada porque provoca a elevação da temperatura interna e externa local, esta causada pela reflexão da radiação solar pelos vidros de volta a atmosfera, e a diminuição da umidade, consequência do uso do ar condicionado no interior da edificação. A Figura 1 exemplifica a configuração de fachadas de alguns prédios da zona central de Brasília.

Para a escolha da edificação e a fachada a ser estudada (Edifício Banco do

Brasil Sede VII) abordaram-se alguns critérios acerca do seu posicionamento na malha urbana, a edificação possuir fachadas revestidas com vidro refletivo, as atividades que ocorrem em seu entorno e se possui em sua proximidade estruturas de grande porte que poderiam vir a bloquear as fachadas a serem estudadas em questão. É importante ressaltar que a região escolhida em Brasília foi a do Setor Bancário Norte (Figura 2), pois até o momento não existe um estudo feito nessa área acerca deste tema.

Figura 1: Edificações na zona central de Brasília com fachadas revestidas em vidro refletivo



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 2: Detalhe de edificações localizadas no Setor Bancário Norte do Distrito Federal com destaque na edificação escolhida



Fonte: Google (2019)

A maioria dos edifícios analisados na região mostraram uma configuração semelhante e mesma modulação de vidro nas fachadas. Devido a isso, o que se mostrou mais adequado para o estudo proposto nesta dissertação, o recebimento da alternativa de *retrofit*, nas fachadas Norte e Oeste, é o Edifício Sede VII do Banco do Brasil (Figura 3), pois o mesmo possui as fachadas Norte e Oeste retangulares revestidas com vidro refletivo, sem nenhum tipo de obstrução ao seu redor, como outras edificações e vegetação. Para os demais fatores de escolha deu-se preferência às fachadas viradas para o Norte e Oeste geográfico, pois a fachada Norte é a mais indicada para a aplicação de painéis fotovoltaicos por ser a que mais recebe incidência solar direta ao longo do ano, e a fachada Oeste fica voltada para o sol da tarde, o mais prejudicial para a edificação nesse caso em específico. Nessa fachada Oeste, os painéis fotovoltaicos entrariam como uma solução de curativo para os efeitos do vidro refletivo.

Figura 3: Edifício Sede VII do Banco do Brasil (Fachada Oeste)



Fonte: Acervo pessoal (2018)

1.1 Problema

Salas de escritórios em edifícios com fachadas de pele de vidro refletivo tendem a ter um uso constante do ar condicionado, diminuindo a umidade do local e facilitando a propagação de doenças respiratórias.

Brisés-soleils e outras soluções tradicionais de bloqueio solar para aberturas foram pensados como uma forma de regulação da temperatura interna da edificação. Projetos arquitetônicos com estudos preliminares e de condicionantes ambientais bem estudados, tendem a ter uma eficiência energética melhor. Os *Brisés-soleils* podem ser opacos ou translúcidos, e se dispõem em várias posições: horizontais, verticais, curvos ou inclinados. Podem também ser fixos ou móveis.

Com essas informações apresentadas, o trabalho se propõe a pesquisar um modo de reduzir o impacto causado pelo uso do ar condicionado, consequência da

utilização de fachadas de edifícios com pele de vidro refletivo nos ambientes internos e como encontrar uma solução de eficiência energética local, pois, as soluções atuais não são consideradas adequadas para o clima de Brasília, causando um aumento da temperatura sensível do ar local, e como consequência, aumentando o gasto energético do interior das construções para gerar o conforto ambiental adequado por meio do ar condicionado.

1.2 Justificativa

Devido à configuração das fachadas do estudo de caso escolhido para essa pesquisa apresentar uma grande área composta de vidro refletivo, e levando em consideração as informações apresentadas sobre o uso do ar condicionado e sobre o clima de Brasília, é relevante pensar em uma solução que sirva como uma fonte geradora de eletricidade local capaz de suprir gastos energéticos da construção, que possibilite o seu uso diretamente pelo edifício e que ajude no controle térmico. O elemento escolhido foi o *Brise-soleil*. Se trata de um recurso arquitetônico utilizado nas fachadas e aberturas de construções para impedir a incidência solar direta em seu interior, evitando assim a manifestação de temperaturas elevadas do ar, limitando a necessidade de resfriamento do interior do edifício. Adepto a isso, o uso de painéis fotovoltaicos, dispositivos utilizados para converter as energias da luz do Sol em energia elétrica, nas fachadas de edifícios em altura, na forma de Brise-soleil podem ajudar a suprir parte da rentabilidade energética da edificação. Com isso, se define a utilização de painéis fotovoltaicos utilizados como *Brise-soleil* sobre as duas fachadas (Norte e Oeste), do objeto de estudo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar, através de simulação computadorizada o desempenho termoenergético e o potencial de geração energética através da instalação de *brises* com painéis fotovoltaicos nas fachadas Norte e Oeste do estudo de caso.

1.3.2 Objetivos específicos

- Verificar através de simulações computacionais dinâmicas o quanto os painéis fotovoltaicos instalados como *brises-soleis* nas fachadas Norte e

Oeste do edifício comercial em questão, serão capazes de suprir da demanda energética já existente. A simulação será feita com o *software Energyplus* 8.9, contudo por meio do software de modelagem *Rhinoceros* 3D e o add-on *Honeybee*. Espera-se que a intervenção de *retrofit* gere uma economia de pelo menos 30% no consumo anual da edificação. Tais programas foram escolhidos devido a sua precisão e simulação realista, sendo uma alternativa mais confiável se comparados com programas de simulação gratuitos.

- Realizar uma simulação computadorizada do gasto termoenergético da edificação em seu estado atual e com esse resultado gerar uma comparação após a aplicação dos *brises* sugeridos. Tal simulação será feita com o *software EnergyPlus* por meio da interface gráfica *DesignBuilder* 6.1. Os resultados são apresentados por meio de consumo energético em kWh.ano, assim como o dado normalizado, por metragem quadrada, em kWh.ano/m², para melhor apreciação do dado e possíveis comparações futuras com outros edifícios.
- Definir a quantidade de painéis fotovoltaicos a ser utilizada levando em consideração a área da fachada em questão;
- Determinar o melhor posicionamento e inclinação dos *brises-soleils* fotovoltaicos, levando em consideração que eles terão que cumprir uma função desejável de proteção solar. Serão levados em consideração dados sobre os níveis de incidência solar mensal da região, pelos de dados fornecidos pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, o posicionamento geográfico da edificação e o uso do programa SOL-AR;
- Determinar quais os melhores meses para a obtenção de eletricidade nas fachadas Norte e Oeste em específico;
- Verificar o quanto que o sombreamento dos *brises* é relevante para a economia de energia da edificação. Espera-se que somente o sombreamento seja responsável por uma economia de 10% no valor total do consumo energético anual;

- Determinar a fachada mais indicada para a intervenção de *retrofit*, entre a Norte e a Oeste, no quesito de geração de energia elétrica.

1.4 Hipótese

Verificar se a instalação de painéis solares fotovoltaicos dispostos como *brises-soleils* na fachada Norte e Oeste do Edifício Banco do Brasil Sede VII são capazes de suprir os gastos energéticos da edificação, bem como se eles atendem a função de proteção de um *brises-soleil*.

2 Metodologia

O critério metodológico adotado para essa pesquisa foi o de natureza aplicada a um procedimento técnico de estudo de caso, onde procurou-se produzir conhecimentos para uma aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos (PRODANOV; FREITAS, 2013). Analisando uma forma de suprir a demanda energética do Edifício Banco do Brasil Sede VII, localizado no Setor Bancário Norte de Brasília, utilizando de recursos que diminuíssem a necessidade de resfriamento artificial do interior da edificação bem como gerar energia direto no local.

Primeiramente, foi feita uma revisão bibliográfica sobre os assuntos e autores engajados nos temas, apresentando alguns autores no referencial teórico.

A carta solar e carta de sombras foi gerada pelo programa SOL-AR, com as coordenadas específicas da região a ser estudada, e com ela posicionada sobre a edificação no mapa da região, foi possível verificar os dias e horários mais adequados para proteção solar, bem como para determinar o tamanho, formato e posicionamento dos *brises-soleil* nas fachadas Norte e Oeste.

Depois, na fundamentação teórica foram apresentados autores relacionados ao tema, à estrutura e mecânica de um módulo fotovoltaico e como referencial, edificações como exemplos no mundo.

Após isso, foi selecionada a edificação como estudo de caso e as fachadas a serem estudadas na pesquisa. Foram obtidas informações técnicas sobre o modelo de painel fotovoltaico escolhido, os dados sobre a incidência solar mensal na região, bem como dados obtidos pelo estudo da carta solar.

Foram realizadas visitas a edificação, onde pode-se observar as fachadas individualmente e obter dados sobre o tipo de vidro utilizado, bem como sua

modulação nas fachadas. Também foram obtidas as plantas técnicas com detalhamentos de estrutura da edificação, tipo de esquadria, projeto de ar condicionado, plantas de fachadas e plantas de corte.

Em seguida, utilizando os dados obtidos nas plantas e projeto técnico como referência, foi feita uma modelagem 3D da edificação, Edifício Banco do Brasil Sede VII, no programa SketchUp. Com essa maquete eletrônica foi possível a análise da incidência solar nas fachadas ao longo do dia.

A próxima etapa foi a da definição das fachadas que iriam receber a alternativa de *retrofit*, no caso, os painéis fotovoltaicos como *brise-soleil*. As fachadas escolhidas em questão foram a Norte e a Oeste, pois a norte é a mais recomendada para esse tipo de instalação e a Oeste é que recebe a radiação solar mais intensa ao longo do dia.

Em seguida foi realizado o cálculo para a definição da inclinação e do comprimento X do *brise* em relação à altura do painel de vidro. Após a obtenção desses valores, eles foram inseridos no programa SOL-AR, primeiramente sendo feito o estudo da fachada Oeste e depois da fachada Norte. Com isso foi possível determinar individualmente em cada fachada a proteção solar que os *brise-soleils* irão proporcionar ao longo dos dias do ano, bem como o período do dia que vão receber mais incidência solar.

Foi feito também uma modelagem 3D do *brise-soleil*, independente da fachada, utilizando o programa *SketchUp*. Através desse modelo foi possível determinar o tipo de estrutura do *brise*, como o painel fotovoltaico foi fixado nessa estrutura, e também como a estrutura do *brise* foi fixada na esquadria da edificação.

Em seguida foi realizada a análise do modelo de ar condicionado utilizado pela edificação, onde foi verificado o consumo do mesmo pelo seu tempo de uso ao longo do dia, com isso foi possível obter o valor do seu gasto energético diário.

Para a execução do estudo realizaram-se simulações computacionais dinâmicas, tanto para a avaliação do desempenho termoenergético, como para a geração de energia fotovoltaica, por meio do uso do software *EnergyPlus*.

Para a avaliação do desempenho termoenergético da edificação utilizou-se o software *Energyplus* 8.9 por meio da interface gráfica *DesignBuilder* 6.1 para o período de todo um ano típico. Os resultados são apresentados por meio de consumo energético em kWh.ano, assim como o dado normalizado, por metragem quadrada,

em kWh.ano/m², para melhor apreciação do dado e possíveis comparações com outros edifícios.

O *Energyplus 8.9* também foi utilizado para realização da avaliação do potencial de geração de energia fotovoltaica, contudo por meio do software de modelagem 3D *Rhinoceros3D* e o *add-on Honeybee*. Os resultados são apresentados em kWh.ano e kWh.dia, assim como esses mesmos dados normalizados, por metragem quadrada, em kWh.ano/m² e kWh.dia/m². Tais programas foram escolhidos devido a sua precisão, sendo mais confiáveis do que opções gratuitas.

Finalmente, com os dados obtidos, foi feita uma projeção do potencial de energia que será gerada diariamente e mensalmente pelos *brises* e pelos painéis fotovoltaicos.

3 Análise e discussão dos dados

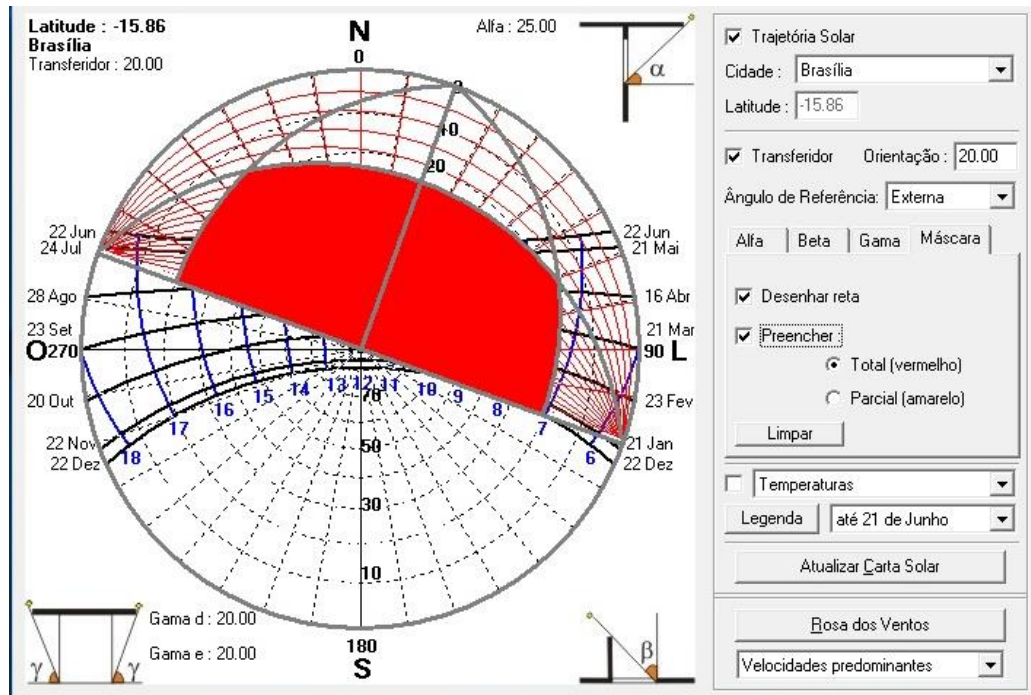
No Hemisfério Sul, A fachada mais indicada para o recebimento de um sistema fotovoltaico é a norte, pois o sol nasce no Leste, sobe se inclinando em direção ao Norte e se põe no Oeste, ou seja, o maior aproveitamento da irradiação solar, onde o painel captaria mais quantidade de luminosidade, é a direção Norte.

Para a definição do posicionamento dos *brise-soleils*, bem como sua inclinação, utilizou-se o programa SOL-AR. Primeiramente na fachada Norte e depois na fachada Oeste.

3.1 Carta solar para a definição do brise e estrutura

Inicialmente foi feito o cálculo para determinar o comprimento X do *brise-soleil*. O cálculo leva em consideração a altura do painel de vidro, no caso, 1 metro de altura, e consiste na utilização do ângulo α (alfa) para determinar o comprimento X do *brise-soleil* através da tangente do ângulo complementar. Com o auxílio do programa SOL-AR, levando em consideração a inclinação da fachada em relação ao norte, e os horários de sol ao longo do ano, determinou-se um ângulo α (alfa) de 25° (Figura 4).

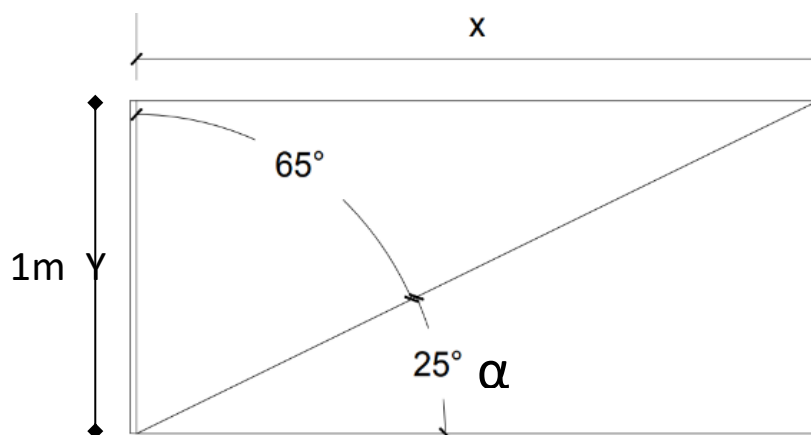
Figura 4: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Norte



Fonte: Acervo pessoal (gerado no programa SOL-AR) (2018)

Como pode ser observado na Figura 4, se utilizar um ângulo alfa de 25° e um ângulo γ (gama) de 25° criamos uma proteção solar que compreende um período das 7:00 horas da manhã até as 16:30 da tarde. A Figura 5 mostra em corte um esquema para a visualização da equação, onde X é o comprimento do *brise-soleil* e Y, que tem o valor de 1 metro, representa a altura do painel de vidro já existente na edificação.

Figura 5: Esquema para cálculo do comprimento X



Fonte: Acervo pessoal (2018)

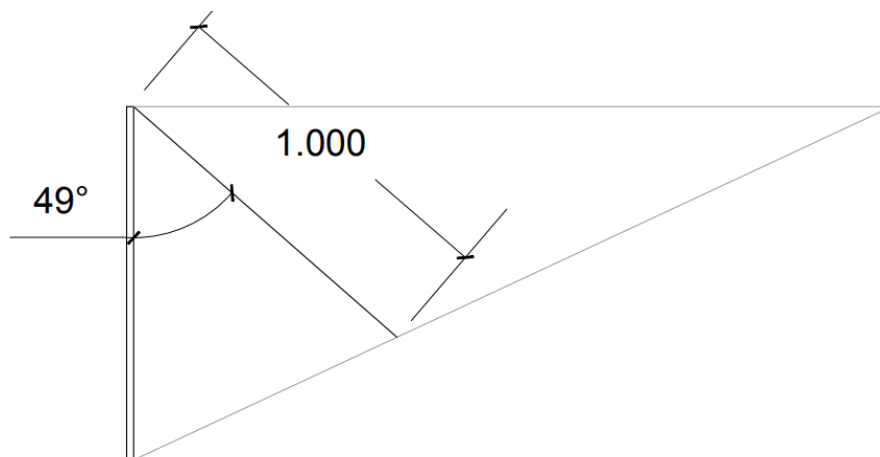
$$\tan 65 = X/1,0$$

$$X = 1,0 \times \tan 65$$

$$X = 2,14 \text{ metros}$$

Segundo a equação, o valor encontrado de X é de 2,14 metros. Porém para efeito de maior praticidade e conveniência, é possível inclinar o painel afim de reduzir seu tamanho, sem prejuízo na área de proteção do sol, desde que seu final se mantenha no limite da linha da tangente. Portanto decidiu-se inclinar o painel em 49° em relação ao eixo Y, obtendo assim, o novo valor de X de 1 metro (Figura 6).

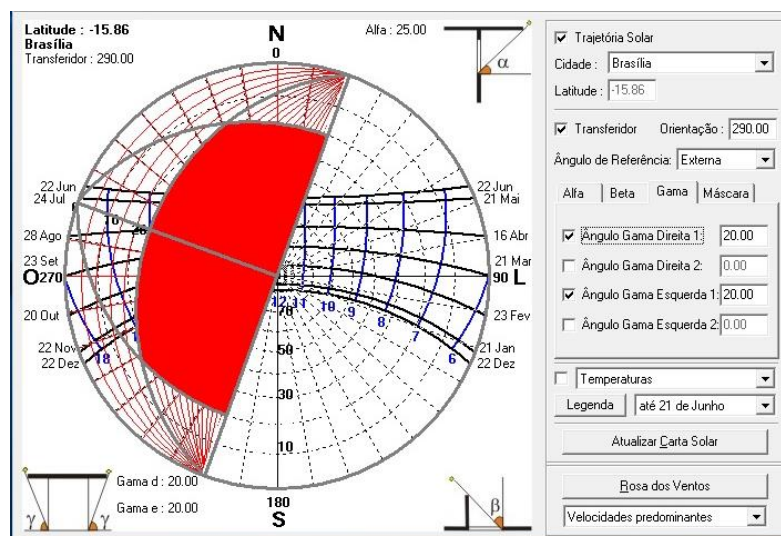
Figura 6: Novo valor de comprimento do painel



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Para a fachada Oeste, optou-se por manter os mesmos valores utilizados na fachada Norte, visto que, ao colocarmos o ângulo alfa em 25° e gama em 20°, conseguimos uma proteção que vai aproximadamente até as 17 horas (Figura 7), e para o comprimento e inclinação dos painéis, também se optou por manter os mesmos valores da fachada norte, tal decisão foi feita levando em consideração a praticidade, valor estético das fachadas e o período de proteção ao longo do dia, que é bem próximo dos horários de proteção da fachada Oeste, mantendo assim um padrão entre as duas.

Figura 7: Mancha de sombreamento no programa SOL-AR, fachada Oeste



Fonte: Acervo pessoal (gerado no programa SOL-AR) (2018)

Para o posicionamento dos painéis fotovoltaicos nas fachadas, optou-se por criar uma estrutura metálica, que será fixada diretamente na esquadria das janelas da edificação. Para a criação da estrutura que receberá o painel fotovoltaico, foi levado em consideração o tamanho da chapa de vidro refletivo das fachadas e sua respectiva esquadria. As chapas de vidro possuem 1,00 m de altura por 1,19 de largura, com uma distância de 2 cm entre elas, devido a esquadria. Por causa dessa configuração, a estrutura do *brise* atenderá as medidas das chapas de vidro. A estrutura será fixada diretamente na esquadria já existente. A edificação possui 740 chapas de vidro refletivo na fachada Oeste, totalizando uma área de 954,23 m² e na fachada norte o total é de 444 chapas, com área de 551 m². A estrutura proposta para o *brise* será de aço galvanizado, com um espaço próprio para o encaixe dos painéis fotovoltaicos. Como o espaço entre duas chapas de vidro é de 2 cm, a instalação da estrutura na fachada será feita nessas condições, com uma estrutura 1 cm de largura em cada unidade para a aplicação na esquadria.

3.2 Desempenho termoenergético

Para realização da avaliação do desempenho termoenergético desenvolveu-se 3 modelos:

1. Um cenário de referência (C0), como a edificação se encontra atualmente, em que não há emprego de brises nas fachadas;

2. Um cenário (C1) com emprego de brises na fachada norte;
3. E um outro cenário (C2) com emprego de brises na fachada oeste.

No presente estudo avaliou-se basicamente os pavimentos tipos da torre, excluindo-se o embasamento do térreo e áreas técnicas da cobertura. Para obter dados para toda torre, simulou-se as 3 diferentes condições de exposição dos pavimentos para cada um dos cenários: o último pavimento, com cobertura exposta; o primeiro pavimento com laje de piso exposta; e um modelo intermediário, que representa os pavimentos do 2º ao 12º. Assim, para totalizar os dados da torre, somam-se os dados do último e o primeiro pavimentos com 11 vezes os valores do modelo intermediário. Os modelos foram desenvolvidos no programa *DesignBuilder*.

As cargas térmicas de cada tipo de zona térmica foram definidas a partir dos dados *default* da biblioteca do programa, com exceção da distribuição de potência instalada da iluminação artificial (DPI) que se utilizou como referência os valores do RTQ-C (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos e o RAC - Requisito de Avaliação da Conformidade para Edificações e suas Portarias Complementares) para o nível de etiquetagem A (BRASIL.INMETRO, 2009).

A área de escritórios possui controle de iluminação artificial a partir da disponibilidade de iluminação natural com dois pontos de controle com um valor de referência de 300 lux.

O sistema de condicionamento de ar segue a mesma lógica do sistema de iluminação artificial e utiliza o RTQ-C como referência (BRASIL.INMETRO, 2009). Utiliza-se um Coeficiente de Performance (CoP) do sistema de condicionamento de ar de 3,23, o que equivale a uma etiquetagem nível A. Utiliza-se um *setpoint* de resfriamento de 24°C e não há *setpoint* para aquecimento nem *setbacks*. Também não há ventilação natural e a taxa de infiltração é mantida mínima, somente pelas frestas das esquadrias, em 1,0 renovações de ar por hora. O período de operação do sistema de condicionamento segue o período de ocupação da edificação.

Quanto aos materiais de vedação, estes seguem as definições de projeto e são modelados a partir das orientações do estudo de camadas equivalentes de Weber et al. (2017). As divisórias internas são em alvenaria, assim como as paredes externas, mas que possuem revestimento cerâmico de cor escura, e assim com absorvância de 0,7 que segue parâmetro da NBR 15.575 (ABNT, 2013). Há também trechos da

fachada com vidro, mas que não são vedações translúcidas pois possuem paredes encostadas por trás. Dessa forma são modeladas com paredes de alvenaria com uma camada adicional de vidro. Já a laje de cobertura e entrepiso são modeladas em concreto maciço, contrapiso e revestimento cerâmico, com 22 cm no total, e possuem absorvência de 0,7, assim como as paredes externas. Os elementos de sombreamento de pilares e volume da caixa de escadas possuem as mesmas características das paredes externas com revestimento cerâmico.

Os *brises* modelados para os dois cenários (C1 e C2) seguem o padrão fornecido, com uma inclinação de 49° , comprimento de 1 m e um espaçamento entre elementos de sombreamento de 2,07 m. Como modelou-se somente um andar, o primeiro elemento de sombreamento inicia-se no nível da laje. No cenário C1, empregou-se os *brises* na fachada predominante volta ao norte, enquanto em C2 os *brises* são empregados na fachada predominante voltada ao oeste.

As simulações são realizadas para o período inteiro do ano e são extraídos os dados de consumo em kWh.ano, assim como dados normalizados em kWh.ano/m². Considera para o cálculo da área somente a área útil. A esse fim, utiliza-se o arquivo climático tipo swera para a cidade de Brasília.

3.3. Potencial de geração elétrica

Para avaliação do potencial de geração de energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos realizou-se a modelagem de toda a volumetria da torre da edificação, com os *brises* com painéis fotovoltaicos na fachada predominante voltada ao Norte (C1), assim como na fachada voltada predominantemente ao Oeste (C2). Da mesma forma que na modelagem utilizada para a avaliação termoenergética, utilizou-se as especificações disponíveis nos projetos de arquitetura em dwg e no modelo de *brises* no arquivo de *SketchUp*, com *brises* com uma inclinação de 49° , comprimento de 1 m e um espaçamento entre elementos de sombreamento de 2,07 m, o que no total contabilizam 19 elementos de sombreamento do último ao primeiro andar.

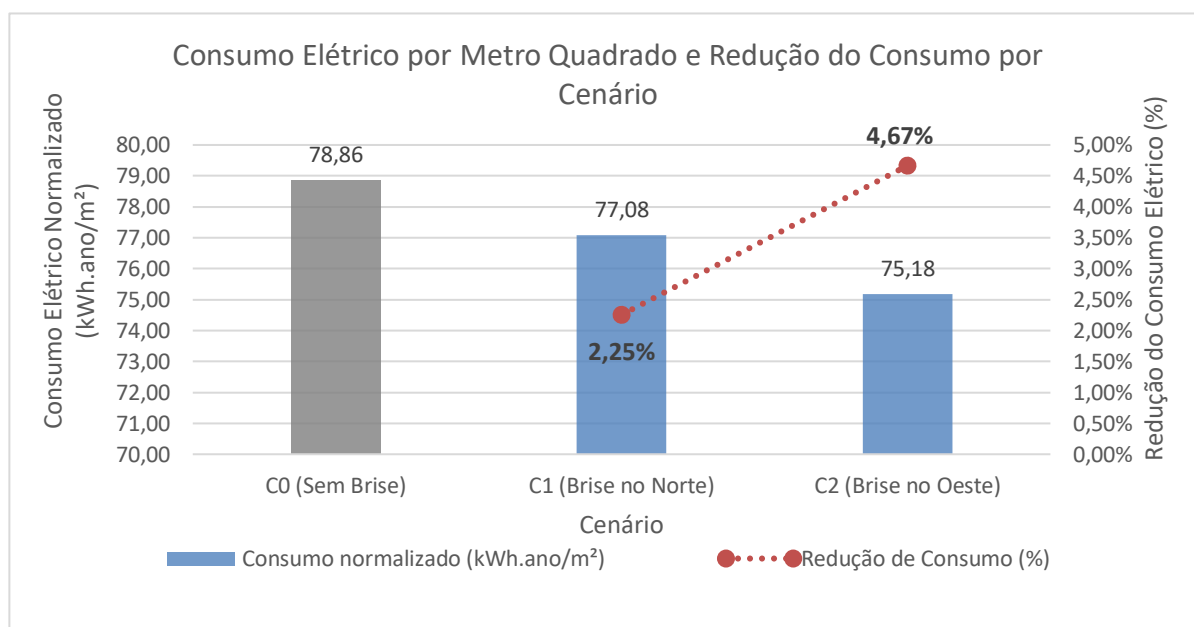
Tanto para C1 quanto para C2 modelou-se a geometria externa conforme projeto, inclusive as saliências dos pilares que funcionam como *brises*. A característica de reflexão dos materiais externos também foi modelada, com as paredes externas com refletância de 0,3 e vidros com transmissão luminosa de 0,2, valores equivalentes aos empregados na simulação termoenergética.

O sistema de geração fotovoltaica foi caracterizado com eficiência de 17% e potência por módulo de 300 W. Em C1, utilizou-se 8 módulos ligados em série em cada elemento de sombreamento, o que ocupou 98% da área de cada elemento de sombreamento. Enquanto em C2 foram 20 módulos ligados em série em cada elemento de sombreamento que ocuparam 97% de cada elemento de sombreamento. Esses dados foram inseridos no *plugin Honeybee*, dentro do *Grasshopper*.

3.4. Desempenho termoenergético sombreamento

O emprego dos *brises* mostrou-se benéfico em ambas as fachadas, contudo os valores são tímidos como demonstra o gráfico na 8. O emprego dos *brises* na fachada predominantemente Norte possibilita uma redução de 2,25% em comparação com o cenário sem *brises*, enquanto a fachada predominantemente oeste possibilita uma redução de 4,67%, ao somarmos os dois resultados temos uma redução total de 6,92%. Em parte, isso pode ser explicado pelo próprio formato do edifício que possui maior fachada na orientação Oeste.

Figura 8: Gráfico do Consumo Elétrico por metro quadrado e redução de consumo por cenário avaliado



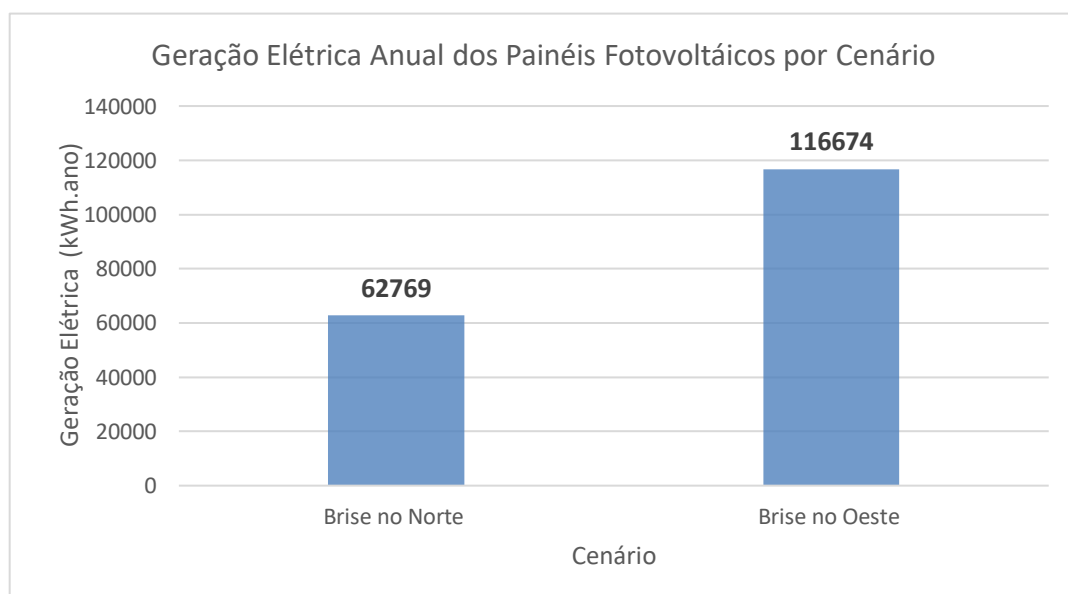
Fonte: Acervo pessoal (2019)

3.5. Potencial de geração fotovoltaica

A instalação dos painéis fotovoltaicos nos *brises* da fachada predominantemente oeste foram capazes de gerar mais energia elétrica do que os painéis fotovoltaicos nos *brises* da fachada predominantemente Norte, como mostra o gráfico da 9, com uma geração de 116 mil kWh.ano no Oeste e 62 mil kWh.ano na fachada Norte. Ao analisar a geração por mês dos dois cenários, no gráfico da

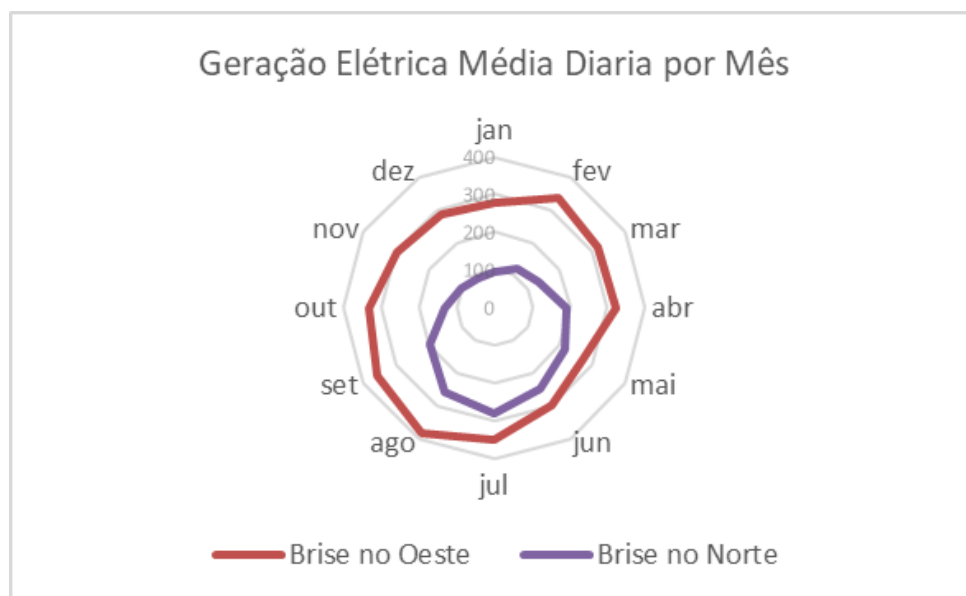
Figura 10: Gráfico de geração elétrica média diária por mês para os cenários10, nota-se que a geração dos *brises* na fachada Oeste é superior durante todos os meses do ano. Em ambos os cenários, a maior geração ocorre nos meses de junho a setembro, quando há alta taxa de radiação e a altura solar é mais baixa, o que melhora a exposição dos painéis bastante inclinados.

Figura 9: Gráfico de geração elétrica anual por cenário estudado



Fonte: Acervo pessoal (2018)

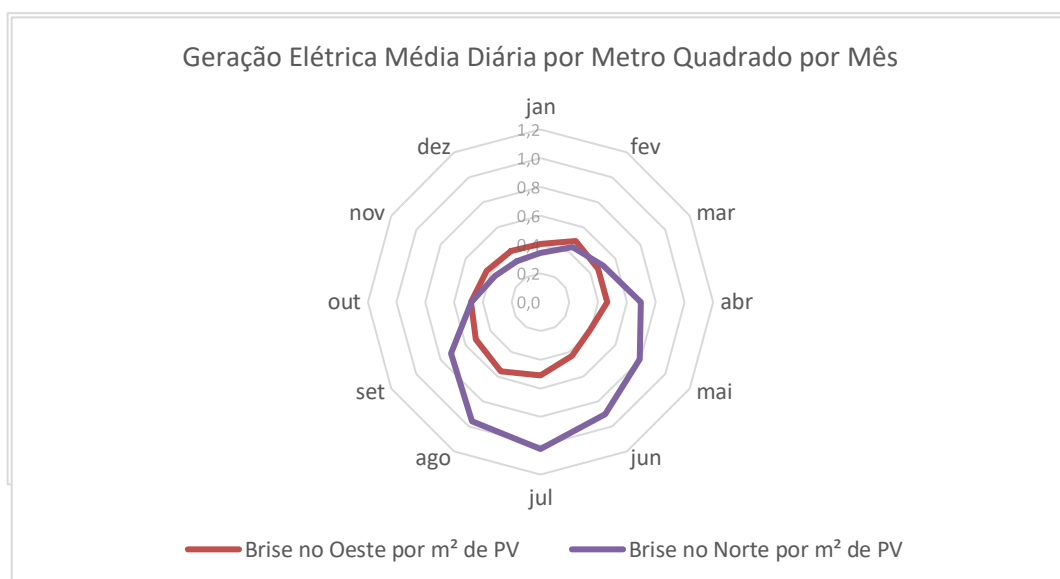
Figura 10: Gráfico de geração elétrica média diária por mês para os cenários



Fonte: Acervo pessoal (2018)

Contudo, apesar da maior geração dos painéis fotovoltaicos da fachada Oeste, estes são menos eficientes e geram menos eletricidade por metro quadrado, como mostra o gráfico da 11, em que os painéis da fachada Norte geram 230 kWh.ano/m² enquanto os da fachada Oeste geram 169 kWh.ano/m². Essa tendência é notada praticamente durante todo ano, em que a fachada Norte gera mais energia por área de painéis, somente nos meses de verão que isso não ocorre, como se percebe no gráfico da 12. Em parte, isso pode ser explicado também pela alta inclinação dos painéis, que prejudica mais a fachada norte por possuir maior altura solar nessa orientação.

Figura 11: Gráfico de geração elétrica anual por metro quadrado por cenário estudado



Fonte: Acervo pessoal (2019)

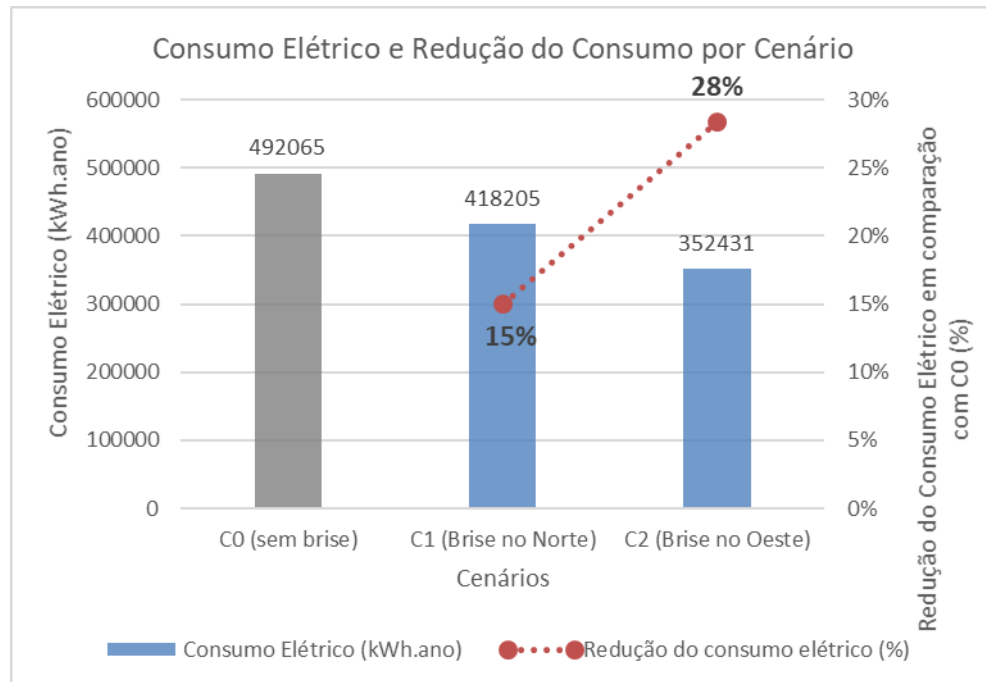
Figura 12: Gráfico de geração elétrica média diária por mês por metro quadrado para os cenários estudados

Fonte: Acervo pessoal (2018)

3.6. Potencial de redução de consumo energético

Ao combinar o potencial de redução do consumo energético da edificação das duas estratégias, sombreamento e geração de energia, obtém-se para o cenário C2, com os *brises* na fachada predominantemente Oeste, uma redução de 28%, como

pode ser observado no gráfico da Figura 13: Gráfico do consumo elétrico e redução do



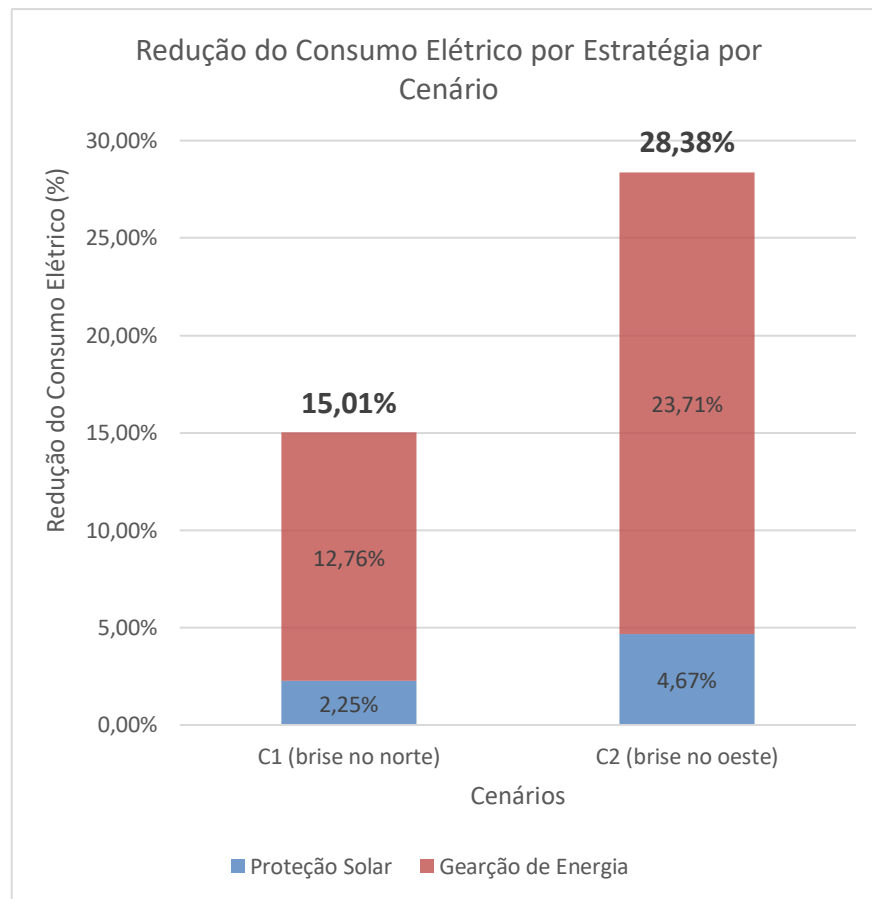
consumo elétrico por cenários¹³. Já na fachada predominante Norte este valor é quase a metade, de 15%. Isso em parte pode ser explicado pela própria geometria da edificação.

Nota-se a partir do gráfico da 14, que a maior parte dessa redução em ambos os cenários se deve a geração de energia elétrica fotovoltaica. Na fachada predominantemente Oeste a geração de energia possibilita uma redução de 23,71%, enquanto na fachada predominantemente norte a redução é de 12,76%. Já o sombreamento foi responsável por uma redução de 4,67% e 2,25% respectivamente. Ao somarmos tudo, temos uma redução total de 43,40% no consumo energético. É importante ressaltar que a pesquisa não levou em consideração outros gastos como instalação e manutenção do equipamento proposto nas fachadas.

Figura 13: Gráfico do consumo elétrico e redução do consumo elétrico por cenários

Fonte: Acervo pessoal (2018)

Figura 14: Redução do Consumo Elétrico por Estratégia por Cenário



Fonte: Acervo pessoal (2018)

4 Conclusões

Os painéis fotovoltaicos se instalados como *brises-soleis* nas fachadas Norte e Oeste do edifício comercial em questão foram capazes de reduzir em 43,40% o consumo energético anual da edificação. Para tal, foram necessários 380 painéis na fachada Oeste e 228 na fachada Norte, somando um total de 608 painéis fotovoltaicos.

Em seu estado atual, a edificação estudada consome 492065 kWh.ano. Após a simulação para a intervenção dos *brises* fotovoltaicos, o edifício passou a consumir 213556 kWh.ano. Uma economia de 43,40% no consumo energético anual, superando a expectativa proposta nos objetivos. Como os painéis fotovoltaicos teriam de cumprir a função de *brise-soleil*, fez-se o estudo solar da região da edificação, onde determinou-se a inclinação de 49° em relação ao eixo Y e o comprimento de 1 metro como sendo os mais adequados para a proteção solar e sombreamento ao longo do dia. Somente com o sombreamento dos *brises-soleil* foi possível uma economia de 4,67% na fachada Oeste e 2,25% na fachada Norte, totalizando uma redução de 6,92% no consumo anual da edificação, ficando abaixo da expectativa proposta nos objetivos. Segundo os dados obtidos nas simulações os melhores meses para obtenção de energia total através dos painéis fotovoltaicos nas fachadas estudadas são os de junho a setembro, para ambas as fachadas. Estes meses são caracterizados por ser o período de seca em Brasília, onde ocorre maior incidência de radiação solar diária.

A fachada Oeste apresentou um rendimento bastante superior se comparada a fachada Norte. Isso se deve pelo fato de que a fachada Oeste possui maior área total, porém, os *brises* instalados na fachada Norte se mostraram mais eficientes por metro quadrado, se comparados aos da fachada Oeste. Os painéis da fachada Norte geram 230 kWh.ano/m² enquanto os da fachada Oeste geram apenas 169 kWh.ano/m². Então apesar da fachada oeste gerar mais energia total, a fachada norte é mais eficiente, produzindo mais energia por metragem quadrada, comprovando o que foi mostrado no desenvolvimento, onde foi dito que no hemisfério sul as fachadas com orientação voltada para o Norte, são mais recomendadas para a instalação de placas fotovoltaicas.

Com todos os dados e informações obtidas e apresentados nesta pesquisa, conclui-se que uma opção de *retrofit* utilizando *brises-soleil* com painéis fotovoltaicos nas fachadas Norte e Oeste da edificação proposta se mostrou eficiente e rentável energeticamente, servindo como uma possível solução termoenergética e geradora de eletricidade para as edificações comerciais existentes que utilizam as fachadas com a configuração de vidro refletivo.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.575:** Edificações Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

GOOGLE. Disponível em: <<https://is.gd/AsAZuw>>. Acesso em: 19 jun.2019.

BRASIL.INMETRO. Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial. Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. **Anexo da Portaria INMETRO nº 163/2009**. 2009.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do trabalho científico:** Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2. ed. Rio Grande do Sul: Feevale, 2013.

WEBER, F. S., MELO, A. P., MARINOSKI, D. L., GUTHS, S., LAMBERTS, R. Desenvolvimento de um modelo equivalente de avaliação de propriedades térmicas para a elaboração de uma biblioteca de componentes construtivos brasileiros para o uso no programa EnergyPlus. **Relatório técnico do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.